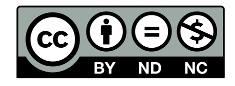
Aprovechamiento de la orina como fuente de nutrientes en la agricultura

Use of urine as a source of nutrients in agriculture

Máryeluz Rueda-Morales[1]

Rueda-Morales, M. Aprovechamiento de la orina como fuente de nutrientes en la agricultura. *Tecnología en Marcha*. Edición especial. Movilidad Estudiantil 6, 2019. Pág 93-103

https://doi.org/10.18845/tm.v32i8.4567



1 Estudiante de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Correo electrónico: yeluzrueda@gmail.com.

Palabras clave

Fertilizante agrícola; orina humana; composición de la orina.

Resumen

El nuevo enfoque en saneamiento intenta encontrar soluciones que promuevan la salud pública, permitan ahorrar agua, prevengan su contaminación y reciclen los nutrientes presentes en las excretas humanas. Una tecnología que permite lograr estos desafíos se llama saneamiento ecológico, cuyo principio es reconocer que la orina y las heces no son residuos, sino, recursos muy valiosos que pueden ser usados como fertilizantes en la agricultura. La orina posee la mayor cantidad de nutrientes presentes en las excretas, siendo el nitrógeno el que se encuentra en mayor cantidad (90%), luego el potasio (73%) y el fósforo (65%), además, tiene la ventaja de ser una sustancia casi estéril al momento de ser expulsada por el cuerpo, y a diferencia de las heces, no requiere tratamiento para ser usada como fertilizante líquido. Sin embargo, la contaminación cruzada por materia fecal puede presentarse durante la separación de ambas excretas, por lo que es importante cumplir con una serie de barreras o etapas para evitar la transmisión de patógenos, como el almacenamiento y la aplicación. Existen algunos riesgos asociados al uso de orina humana, como la presencia de residuos farmacéuticos, sin embargo, el uso humano de farmacéuticos es menor comparado con los plaguicidas usados en la agricultura o las hormonas y antibióticos presentes en el estiércol, que actualmente se usa para fines agrícolas. Si la orina humana se maneja adecuadamente puede ser una importante fuente de ingresos para los agricultores, a la vez que permitiría reducir los gastos en fertilizantes agrícolas comerciales.

Keywords

Agricultural fertilizer; human urine; urine composition.

Abstract

New sanitation approaches try to find solutions to promote public health, save water, prevent pollution and recycle nutrients in human excreta. One technology that achieves these challenges is called ecological sanitation, whose principle is to recognize that urine and feces are not waste, but a valuable resources that have to be recovered, treated if it is necessary and safely reused as fertilizers in agriculture. Urine has the highest amount of nutrients present in the excreta. Nitrogen is the most present (90%), then potassium (73%) and phosphorus (65%). When human urine coming out of the body, is an almost sterile substance, and unlike feces, does not require treatment to be used as liquid fertilizer. However, cross-contamination by fecal matter may occur during the separation of both excreta, so it is important to have a set of barriers or steps to prevent the transmission of pathogens, such as storage and application. There are some risks associated with the use of human urine, such as the presence of pharmaceutical residues; however, the human use of pharmaceuticals is lower compared to pesticides used in agriculture or the hormones and antibiotics present in manure, which is currently used for agricultural purposes. If human urine is properly managed, it can be an important source of income for farmers, and reduce expenditures on commercial agricultural fertilizers.

Introducción

Las Naciones Unidas (UN por sus siglas en inglés) declararon el acceso al agua potable y al saneamiento como un derecho humano esencial [1]. Sin embargo, de acuerdo al Reporte de los Objetivos de Desarrollo del Milenio 2015, en el mundo 2.4 billones de personas aún no tienen acceso a saneamiento mejorado, y 946 millones de personas aún practican la defecación a cielo abierto, lo cual es una clara manifestación de extrema pobreza [2] [3].

Para poder hacer frente a ese desafío, el nuevo enfoque en saneamiento ha sido encontrar soluciones que promuevan la salud pública, ahorren agua, prevengan la contaminación del recurso hídrico y reciclen los nutrientes presentes en las excretas humanas. Una solución que cumple con todas estas características se llama "saneamiento ecológico" o también conocido como "ecosan" [4]. El saneamiento ecológico, es una serie de tecnologías que pueden ser alteradas dependiendo de la situación social y ecológica [5], y reconoce que las excretas humanas y las aguas residuales no son productos de desecho, sino, recursos muy valiosos. Ecosan se basa en tres principios: prevenir la contaminación, sanitizar las excretas y usar solamente productos seguros para fines agrícolas [4].

Respecto al uso de las excretas, la orina humana tiene cierta ventaja en comparación con las heces, debido a que es más segura y no requiere de tratamiento [6]. Sin embargo, hay ciertos aspectos que deben ser tomados en cuenta para lograr un adecuado manejo de la orina y que no se convierta en una fuente de contaminación, entre ellos el almacenamiento, los métodos de tratamiento, la aplicación en los cultivos, etc.

El siguiente artículo recopila información basada en una serie de investigaciones realizadas previamente en diversos países, y tiene como propósito detallar los aspectos relacionados con el manejo de la orina humana, y su uso para fines agrícolas.

Características de la orina humana

La orina humana es un residuo líquido del cuerpo humano. Es secretada por los riñones después de un proceso de filtración de la sangre llamado micción. Como resultado de ese proceso, solo quedan compuestos de bajo peso molecular [7] [8].

Generación de orina

La cantidad de orina desechada por el cuerpo depende de la cantidad de líquido consumido, sin embargo, en promedio una persona adulta puede producir entre 1-1.5 L de orina diariamente, y aproximadamente, 500 L de orina por año [8] [9] [10] [11]. Por otra parte, en el caso de los niños es aproximadamente la mitad de esa cantidad [7].

Composición de la orina

La orina es una solución acuosa compuesta por más de un 95% de agua [12]. Además, contiene la mayoría de nutrientes excretados por el cuerpo y que son los principales macronutrientes requeridos por las plantas; nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). El nitrógeno es el compuesto presente en mayor cantidad, del cual, 75-90% se encuentra como urea y el resto principalmente como amonio y creatinina [7] [13]. En el caso del fósforo y el potasio, estos se encuentran en cantidades más bajas, en formas que las plantas pueden asimilar [12].

Pocos estudios han podido determinar la cantidad precisa de nutrientes contenidos en la orina [13] debido a que su composición depende directamente de la cantidad y calidad de la comida consumida [11], junto a otros factores como el clima, el género, disponibilidad de agua, actividad física, etc. En consecuencia, Jönsson y Vinnerås [14] han desarrollado un método que

permite calcular la composición de la orina a partir de información de fácil acceso [7] [12], y que se basa en las estadísticas de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) relacionadas con el suministro de alimentos disponibles en distintos países.

El método (ecuaciones 1 y 2) permite obtener la cantidad promedio de N y P presente en las excretas a partir de la ingesta de comida (según la FAO):

N=0.13*Proteína total en los alimentos (ecuación 1)

P=0.011*(Proteína total en los alimentos+Proténa en los vegetales) (ecuación 2)

En las ecuaciones 1 y 2 las unidades de N y P son las mismas que las de la proteína alimentaria. Si se requiere saber la cantidad de N y P presente en las heces o en la orina, los valores obtenidos a partir de las ecuaciones 1 y 2 se debe conocer la fracción de nutrientes contenidos en cada una [7]. Lo anterior se realiza usando una estimación de la excreción media de la población sueca (cuadro 1), donde se han llevado a cabo diversos estudios y mediciones. En este país, aproximadamente el 88% de N, 67% de P y 73% de K en las excretas se encuentran en la orina y el resto en las heces [8] [15].

Cuadro 1. Valores propuestos de la población sueca para la masa excretada y nutrientes.

Parámetro	Unidad	Orina	Heces	Papel higiénico	Aguas residuales (orina + heces)
Masa húmeda	kg/persona.año	550	51	8.9	610
Masa seca	kg/persona.año	21	11	8.5	40.5
Nitrógeno	g/persona.año	4000	550		4550
Fósforo	g/persona.año	365	183		548

Fuente: [11]

El método puede ser usado en diferentes países, sin embargo, como la cantidad de nutrientes en las excretas depende de la dieta y el grado en que los nutrientes son digeridos por el cuerpo, se requieren mediciones para obtener datos más congruentes con las características de cada región. Algunos estudios coinciden en que el porcentaje de nutrientes presentes en la orina es aproximadamente 90% N, 65% P y 73% K [16] [17]. En cambio, estos valores no son los mismos en todos los países, en China por ejemplo, el 70 % de N y 25-60% de P se encuentran en la orina y el resto en las heces [7].

Saneamiento ecológico y aprovechamiento de la orina humana en la agricultura

La descarga de aguas residuales con altas cargas de nutrientes y de contaminantes está causando el incremento en los problemas de calidad del agua. Además, en las plantas de tratamiento existe una alta demanda de químicos y de energía para los procesos de aireación, los cuales son requeridos para eliminar el nitrógeno y el fósforo de las aguas [10]. Por otra parte, la producción global de alimentos necesitará ser incrementada un 70% para el 2050 para lograr abastecer la demanda de alimentos de 9.1 billones de personas [6]. Para suplir dicha demanda se requiere el uso de nutrientes como fósforo, nitrógeno y potasio para fertilizar las plantas.

Los datos mencionados anteriormente tienen un factor común; los nutrientes presentes en las excretas. Y es aquí donde entra en contexto el saneamiento ecológico, una técnica que reconoce que las excretas humanas no son desechos, sino que promueve su uso como una fuente de nutrientes para la agricultura [6]. Uno de los principios es mirar al saneamiento como un sistema que no termina en el inodoro, sino que incluye la adecuada recolección, tratamiento, transporte y reúso final de las excretas en la agricultura, con el propósito de cerrar el ciclo entre saneamiento y agricultura (figura 1) [18]. De este modo es posible lograr la eficiencia en el uso de los recursos, combatir la pobreza, mejorar el acceso al agua limpia y al saneamiento básico, y promover la seguridad alimenticia [6].



Figura 1. Cerrando el ciclo de saneamiento y agricultura.

Fuente: [18]

Manejo de la orina

La aplicación de la orina humana como fertilizante ha ganado mucha popularidad en distintos países [8], debido a que es una técnica relativamente sencilla, que brinda la posibilidad de usar la orina sin tratamiento. Lo contrario ocurre con las heces, ya que al ser la principal fuente de enfermedades infecciosas entéricas y parásitos, s [6]

Sin embargo, en ocasiones la sociedad no es consciente de las ventajas del uso de la orina, por lo que pueden existir dificultades relacionados con los procesos de recolección, transporte, tratamiento y reúso [19]. En consecuencia, para que un proyecto sea exitoso, es necesario involucrar en el proceso a las partes interesadas, y mostrarles los beneficios que puede proporcionar el uso de la orina humana [20].

Métodos de separación de la orina

La orina humana cuando es expulsada del cuerpo, es una sustancia casi estéril que generalmente se considera libre de patógenos [18]. La separación de la orina en la fuente permite obtener uno de los fertilizantes más limpios y seguros para la comunidad agrícola, por eso, la manera en la cual se separa la orina es una parte muy importante del proceso. En saneamiento ecológico hay dos tecnologías principales para separar la orina. Esta sección describe ambos tipos de sistemas con los cuales el usuario interactúa; baño con separador de orina (UDT) por sus siglas en inglés, y orinales para hombres y mujeres.

Inodoro con separación de orina

Cuando la orina se combina con las heces la mezcla es más difícil de manejar higiénicamente. Para tratar este problema, una alternativa de inodoro fue diseñada por Larsen y Guger en 1996; inodoro con separación de orina (UDT por sus siglas en inglés) o baño sin mezcla, cuyo principal propósito es separar la orina humana de las heces en la fuente y así tener un mejor reciclaje de los nutrientes en la orina [8]. Un inodoro con desvío de orina tiene dos salidas y dos sistemas de recolección; uno para la orina y el otro para las heces, cuyo principal objetivo es mantener ambos flujos separados. El inodoro puede tener agua de enjuague o ser seco [17]. La orina y las heces son recolectadas en diferentes contenedores, almacenadas o tratadas, y finalmente pueden ser usadas como fertilizante para los cultivos [21].

Orinales para hombre y mujeres

Un orinal es usado solo para colectar orina. Los orinales diseñados para mujeres consisten en plataformas horizontales elevadas y un canal inclinado o zona de captación que conduce la orina a un sistema de recolección [17]. Además existen otras alternativas para mujeres, como el colector de orina para mujeres, el cual es un orinal intravaginal diseñado para ser usado durante largos períodos de tiempo [22], otro dispositivo es el orinal de mujeres para uso en posición erguida, que hace innecesario que una mujer tenga que sentarse para orinar [23]. Adicionalmente, otra tecnología es el orinal portable, para colectar y almacenar la orina del usuario, y puede ser modificado para adaptarse al área genital de hombres o mujeres [24]. Por otra parte, los orinales para hombres pueden ser unidades colocadas verticalmente o losas sobre las cuales el usuario puede colocarse de cuclillas [17]. El orinal puede ser usado con o sin agua, la cual es principalmente para limpiar y prevenir olores. En diseños actuales, el agua usada para descarga puede ser menos de 2 L, y en modelos más antiguos la cantidad de agua puede ser casi 20 L. En consecuencia, tecnologías sin agua deberían ser usadas.

Tratamiento de la orina y recuperación de nutrientes

El objetivo de tratar la orina es prevenir una posible contaminación en el ambiente, malos olores y riesgos en la salud. Además, es una manera de recuperar nutrientes para ser directamente aplicados en la agricultura. Existen diferentes tratamientos, uno de ellos es la precipitación de estruvita, un proceso rápido y simple que ha sido probado en distintos proyectos pilotos. Consiste en agregar una fuente de magnesio para precipitar casi todo el fósforo como estruvita. Sin embargo, con este método, más del 97% del nitrógeno y prácticamente todo el potasio permanecen en el efluente [25] [26]. Además, los patógenos que puedan estar presentes no son inactivados, por eso debe combinarse con otros procesos de tratamiento.

Otra tecnología combina la nitrificación y la destilación. Aunque este proceso es más complejo que la precipitación de estruvita, recupera todos los nutrientes (nitrificación) en una solución concentrada (destilación) [25].

Adicionalmente, como método de tratamiento se puede mencionar la electrólisis, debido a su alta tasa de degradación por superficie y simple operación, podrías ser utilizada en reactores muy pequeños in-situ. Sin embargo, este método degrada el amonio, por lo que no existe la recuperación de nutrientes. El sistema puede ser usado en los inodoros, para hacer un tratamiento completo de la orina y evitar los costos de transporte [25].

La evaporación de la orina almacenada es una tecnología muy prometedora, la cual puede ser alimentada por el sol en destiladores solares. Sin embargo, en el proceso hay volatilización y pérdida de amonio. Por lo que investigadores de la Universidad Técnica de Hamburgo (TUHH) han estudiado el proceso de separación de amonio de baja tecnología, que consiste en recuperar el amonio de la orina almacenada a elevadas temperaturas (74°C-80°C), en un sencillo aparato cerrado de transferencia de masa, donde se absorbe el amonio de la fase gaseosa en un medio ácido [26].

Almacenamiento de la orina

La orina humana puede ser usada como un fertilizante para los cultivos a pequeña o gran escala. Cuando la orina recolectada proviene de distintos hogares y se mezcla en una sola unidad de almacenamiento, es recomendable un alto pH, alta temperatura, alta concentración y períodos largos de almacenamiento para eliminar patógenos y virus que puedan estar presentes en la excreta [8]. Se ha llegado a la conclusión de que principalmente la temperatura y un pH elevado (~9) en conjunto con el amoníaco afectan la inactivación de los microorganismos [27].

De acuerdo a la Guía para el Uso Seguro de Excretas en la Agricultura, elaborada por WHO (2006), el período óptimo de almacenamiento de la orina es 6 meses a 20°C o más. Si la familia quiere usar su propia orina para fertilizar los cultivos en el hogar, se acepta el uso directo después de la recolección, o un corto tiempo de almacenamiento (1 mes) [21]. Adicionalmente, investigaciones hechas por Richert et al. (2007) han encontrado que para climas fríos el período de almacenamiento de la orina es el mismo mencionado anteriormente.

La orina debe ser almacenada siempre en recipientes cerrados para evitar la pérdida de amoníaco. Por lo general tanques de 1 m^3 (figura 2) son usados en sistemas de recolección a pequeña o mediana escala. En el caso de sistemas a gran escala, se pueden usar tanques para mezcla, sin embargo, en muchas ocasiones es necesario construirles cubiertas que minimicen las pérdidas de amoníaco ya que no las poseen. Cuando los períodos de almacenamiento son cortos puedes ser utilizados bidones [12]. Se recomiendan tanques de almacenamiento plásticos o de concreto, y evitar los metálicos ya que la orina puede corroerlos [21].



Figura 2. Tanques de almacenamiento de un metro cúbico. Fuente: [12]

En el caso en que no haya espacio para almacenar la orina, se puede hacer directamente en el suelo aplicándola en el sitio durante un período seco entre cultivos. De este modo los nutrientes permanecen en el suelo posteriormente pueden ser usados por las plantas durante la etapa de crecimiento. No obstante, son necesarias investigaciones para poder determinar el grado de pérdida y disponibilidad de nutrientes durante y después del almacenamiento [12].

Se considera que el uso de orina en la agricultura es una buena opción para zonas rurales. Sin embargo, en áreas urbanas, aunque haya una densidad de población mayor y el almacenamiento y transporte de orina pueden resultar difíciles, es posible lograrlo al aplicar técnicas para concentrar el líquido, permitiendo tratar la orina al mismo tiempo que se reduce el volumen [28].

Aplicación de la orina en los cultivos

El uso de la orina como fertilizante es apropiado cuando existe una necesidad de nutrientes, por el contrario, podría volverse una fuente de contaminación y poner en riesgo la salud de las personas [17].

La orina debe ser aplicada tomando en cuenta las necesidades de las plantas. Como regla general se puede decir que por temporada de cultivo, 1 m^2 de terreno puede recibir la orina que una persona produce durante 1 día completo (1.5 L), lo cual corresponde a 40-110 kg N/ha [12]. La orina puede ser aplicada sin diluir o diluida con agua. En general, el nivel de dilución varía entre 1:1 (una parte de agua a una parte de orina) a 10:1 (diez partes de agua a una parte de orina), siendo lo común 3:1 (3 partes de agua y 1 parte de orina), sin embargo, la correcta cantidad va a depender del suelo y el tipo de vegetales [7] [17].

Es importante tomar en cuenta el tipo de cultivo para elegir la técnica de aplicación (figura 3). Para los cultivos que se siembran en filas, la orina puede ser aplicada en una zanja ubicada al lado de la fila. Para los cultivos que se siembran en hileras y que poseen una separación entre las plantas, se puede aplicar en un hoyo ubicado junto a cada planta. Para los árboles, la orina se aplica en círculo alrededor del árbol [12].





Figura 3. Aplicación de la orina usando diferentes técnicas de aplicación (de izquierda a derecha: cultivos en filas, cultivos en hileras, árboles). Fuente: [18]

En las primeras etapas de cultivo es importante una buena disponibilidad de nutrientes, sin embargo, la absorción de estos se ve disminuida cuando el cultivo entra en la fase reproductiva [12]. La orina no debería ser aplicada a los cultivos menos de un mes antes de que sean cosechados, especialmente en los que son consumidos crudos, debido a que un período largo entre la aplicación y la cosecha permite disminuir los riesgos de transmisión de patógenos [8] [11] [4].

Para obtener mejores efectos de fertilización, evitar olores, pérdida de amoníaco, quemaduras y una posible contaminación de la planta con patógenos, la orina debería aplicarse cerca o ser incorporada en el suelo. La fertilización foliar no se recomienda [7] [12].

Proyectos realizados

El uso de la orina como fertilizante ha sido estudiado en diversos lugares y con diferentes cultivos. Algunos de los países son: China, Finlandia, Alemania, Japón, Sudáfrica, México, India, Suecia, Suiza, Tanzania, Zimbabue, Vietnam, Filipinas, Costa Rica [8]. Entre los cultivos que se han analizado se pueden mencionar: el maíz, tomates, bambú, arroz, bananos, cereales, espinacas, repollo, caña de azúcar, entre otros.

En todos ha habido experiencias negativas y positivas, pero lo que mayormente se destaca, es la desinformación o desconocimiento del tema, además, las personas pueden presentar cierto nivel de desagrado al tener contacto con la orina debido a prejuicios [29]. Sin embargo, con una correcta educación y concientización durante todo el proceso, es posible que las personas entiendan las ventajas en el uso de las excretas [20].

Uno de los principales factores que puede contribuir a que los agricultores cambien sus actitudes arraigadas sobre el manejo de la orina, es el aspecto económico. El uso de este recurso puede disminuir la dependencia de los fertilizantes agrícolas comerciales y además ser una fuente de ingresos. En un proyecto llevado a cabo en India, se estimó que una familia podía ahorrar US$72 anualmente si usaba orina en lugar de fertilizantes sintéticos [16]. Lo ideal es llevar este valor a una mayor escala, convirtiéndose en una fuente de empleo y de este modo combatir la pobreza.

Riesgos por el uso de la orina humana

La calidad de la orina por lo general es muy alta comparada con las heces. La separación de la orina en la fuente es una importante barrera de protección ante la transmisión de patógenos, los cuales son excretados en la materia fecal. Si no existe contaminación fecal cruzada, los riesgos para la salud relacionados con el uso de la orina humana en la agricultura son generalmente bajos [29]. Existen una serie de múltiples barreras promovidas por WHO (2006) para reducir los riesgos a la salud asociados al uso de excretas, entre ellas se puede mencionar: almacenamiento, restricción de ciertos cultivos, períodos de retención y contacto reducidos, adecuado manejo y cocción del cultivo [11].

No obstante, algunos estudios han revelado la existencia de riesgos asociados con residuos farmacéuticos presentes en la orina, particularmente las sustancias solubles en agua [30] [31] [32] (como regla general: dos tercios de los residuos de productos farmacéuticos son excretados en la orina y un tercio con las heces). Muchos de estos no presentan una buena biodegradabilidad y pueden ser acumulados en las plantas e ingresar a la cadena alimenticia humana [30] [31]. Adicionalmente, es importante considerar que la presencia de farmacéuticos en la orina recolectada de diversas personas bajo medicación, puede afectar las aguas subterráneas al ser transferidos en el suelo cuando la orina es usada como fertilizante [33].

Aún no se ha realizado una evaluación completa de los posibles efectos tóxicos que pueden presentar los productos farmacéuticos ingeridos por los humanos Por otra parte, los residuos farmacéuticos presentes en la orina común no presentan niveles de concentración que afecten el crecimiento y desarrollo de las plantas [31]. Lo anterior se debe a que el uso humano de sustancias farmacéuticas es pequeño comparado con la cantidad de plaguicidas (insecticidas, bactericidas, fungicidas y herbicidas) usados en la agricultura [12], y a que la cantidad de hormonas y antibióticos presentes en la orina humana es mucho menor que en el estiércol, el cual ya se usa para fines agrícolas [31].

Conclusión

El uso de la orina como fertilizante en la agricultura ha mostrado muchas ventajas según diversos estudios realizados en diferentes países. Sin embargo, aunque su calidad es normalmente muy alta comparada con las heces, existen ciertos riesgos de contaminación por materia fecal, además de la presencia de ciertos farmacéuticos. Por eso, es importante tomar en cuenta las recomendaciones del manejo de la orina, como el correcto tiempo de almacenamiento, tratamiento y aplicabilidad. Finalmente, para garantizar que los proyectos sean exitosos, es muy importante tomar en cuenta a todas las partes involucradas, y crear conciencia respecto a las ventajas de la utilización de la orina humana; la educación es la clave del éxito.

Referencias

[1] United Nations General Assembly , "'A/RES/64/292: The human right to water and sanitation', no. 64," in *Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 201*0 , 2010.

[2] United Nations, "The millennium development goals report 2015," 2015.

[3] WHO & UNICEF, "Progress on sanitation and drinking water: 2015 update and MDG assessment," United States of America, 2015.

[4] U. Winblad and M. Simpson-Hébert, Eds., Ecological Sanitation: Revised and enlarged edition, 2nd ed, Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2004.

[5] J. Myers, "Ecological sanitation: A sustainable dream or reality?: Exploring complexity of transitions to more sustainable sanitation practices: A case-study of Burmi Tola, India," Sweden, 2013.

[6] G. Haq and H. Cambridge, "Exploiting the co-benefits of ecological sanitation," *Current Opinion in Environmental Sustainability,* vol. 4, no. 4, pp. 431-435, 2012.

[7] H. Jönsson, A. Richert, B. Vinnerås and E. Salomon, "Guidelines on the use of urine and faeces in crop production," Stockholm, Sweden, 2004.

[8] T. Karak and P. Bhattacharyya, "Human urine as a source of alternative natural fertilizer in agriculture: A flight of fancy or an achievable reality," *ScienceDirect*, vol. 55, no. 4, pp. 400-408, 2011.

[9] EcoSanClub, "Use of urine," *EcoSanClub*, vol. 3, 2010.

[10] X. Hao, V. Novotny and V. Nelson, "Water infrastructure for for sustainable communities: China and the world," IWA Publishing, London, 2010.

[11] WHO, "Guideline for the safe use of wastewater, excreta and greywate: Volume IV: Excreta and greywater use in agriculture," 2006.

[12] A. Richert, R. Gensch, H. Jönsson, T. Stenström and L. Dagerskog, "Practical guidance on the use of urine in crop production," Stockholm, Sweden, 2011.

[13] J. R. Mihelcic, L. M. Fry and R. Shaw, "Global potential of phosphorus recovery from human urine and feces," *Chemosphere*, vol. 84, no. 6, pp. 832-839, 2011.

[14] H. Jönsson and B. Vinnerås, "Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data," Sweden, 2003.

[15] H. Kirchmann and S. Pettersson, "Human urine-Chemical composition and fertilizer use efficiency," Sweden, 1995.

[16] K. Andersson, "Agricultural trials demonstrate benefits of urine harvesting and sustainable sanitation: Fact sheet," Stockholm, Sweden, 2014.

[17] E. Tilley, L. Ulrich, C. Lüthi, P. Reymond and C. Zurbrügg, "Compendium of sanitation systems and technologies," Duebendorf, Switzerland, 2014.

[18] R. Gensch, A. Miso and G. Itchon, "Urine as liquid fertilizer in agricultural production in the Philippines: A practical field guide," Xavier University Press, Cagayan de Oro City, 2011.

[19] K. Kassa, F. Meinzinger and W. Zewdie, "Experiences from the use of urine in Arba Minch, Ethiopia: Sustainable Sanitation Practice," *EcoSan Club*, vol. 3, pp. 12-17, 2010.

[20] M. Samwel, S. Deegener, C. Werner, N. Räth and J. Eichholz, "Dry urine diverting school toilets Gozhuli, Ukraine: Data sheets for ecosan projects," Hamburg, Germany, 2007.

[21] A. Richert, H. Jönsson, C. Schönning, K. Hinkkanen, E. Kvarnström, Z. Ganrot, M. Samwel, S. Gabizon and A. Mohr, "Urine diverting toilets in climates with cold winters: Technical considerations and the reuse of nutrients with a focus on legal and hygienic aspects," Munich, Germany, 2007.

[22] P. Cooney and D. Cooney, "Urine collector for women". Patent US 05/807, 430, 22 April 1980.

[23] M. Woodward, "Women's urinal for use in erect position". Patent US 06/912,668, 29 September 1987.

[24] H. Rehrig, "Portable urinal". Patent US 09/670,466, 3 February 2004.

[25] K. Udert, C. Buckley, M. Wächter, C. McArdell, T. Kohn, L. Strande, H. Zöllig, A. Fumasoli, A. Oberson and B. Etter, "Technologies for the treatment of source-separated urine in the eThekwini Municipality," *SciELO*, vol. 41, no. 2, 2014.

[26] H. Gulyas, S. Zhang and R. Otterpohl, "Pretreating stored human urine for solar evaporation by low-technology ammonia stripping," JEP, vol. 05, no. 11, pp. 962-969, 2014.

[27] C. Schönning and T. Stenström, "Guidelines for the safe use of urine and faeces in ecological sanitation systems," Stockholm, Sweden, 2004.

[28] J. Behrendt, E. Arevalo, H. Gulyas, J. Niederste-Hollenberg, A. Niemiec, J. Zhou and R. Otterpohl, "Production of value added products from separately collected urine," Hamburg, Germany, 2002.

[29] A. Richert, R. Gensch, H. Jönsson, L. Dagerskog, T. Stenström and M. Bonzi, "Food security and productive sanitation; Practical guideline on the use of urine in crop production," *EcoSan Club*, vol. 3, no. 5, 2010.

[30] J. Behrendt, M. Winker, C. Anjonina, L. Blum, C. Buzie and R. Otterpohl, "Is the agricultural utilisation of treated urine and faeces recommendable?," Hamburg, Germany, 2009.

[31] M. Winker, "Are pharmaceutical residues in urine a constraint for using urine as a fertiliser: Sustainable Sanitation Practice," *EcoSan Club*, vol. Issue 3, 2010.

[32] M. Winker, D. Dimova, K. Ritter, R. Otterpohl and J. Clemens, "Effect of five pharmaceutical substances contained in urine on the germination of cress and cereal seedlings: Proceedings of the IWA conference sustainable solutions for small water and wastewater treatment systems," Hamburg, Germany, 2010.

[33] D. Gajurel, H. Gulyas, M. Reich and R. Otterpohl, "Behaviour of four selected pharmaceuticals during long-time storage of yellow water," Hamburg, Germany, 2007.